

การปรับปรุงระบบการจัดเก็บในศูนย์กระจายสินค้า Improvement of Storage System for Distribution Center

พัฒนพงษ์ แสงหัตถวัฒนา¹, อรนิชา อนุชิตชาญชัย²

^{1,2} นักวิจัย, สถาบันการขนส่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail: ¹ Patanapong.S@chula.ac.th, ² Ornicha.A@chula.ac.th

บทคัดย่อ

ในการหยิบสินค้าตามใบเบิกสินค้าแบบหลายคำสั่งต่อรอบ ตำแหน่งการจัดเก็บสินค้ามีผลอย่างมากต่อระยะเวลาในการเบิกจ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับศูนย์กระจายสินค้าในธุรกิจจัดส่งสินค้าถึงบ้าน ดังนั้นในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นปรับปรุงระบบการจัดเก็บของศูนย์กระจายสินค้าเพื่อลดระยะเวลาในการเบิกจ่ายสินค้า โดยทำการเปรียบเทียบนโยบายในการจัดเก็บ 3 รูปแบบ ประกอบด้วย (1) ระบบจัดเก็บตามกลุ่มประเภทสินค้าทั่วไป (2) ระบบจัดเก็บแบบตามลำดับของสินค้า และ (3) ระบบการจัดเก็บตามความสัมพันธ์ของสินค้าในใบเบิกสินค้า ซึ่งผลจากการจำลองสถานการณ์พบว่าการจัดเก็บแบบตามความสัมพันธ์ของสินค้าให้ผลที่ดีที่สุด และการจัดสรรพื้นที่สำหรับเบิกจ่ายรวดเร็ว (Forwarding Area) ให้ผลที่ดีกับทุกรูปแบบการจัดเก็บ

คำสำคัญ: คลังสินค้า, ศูนย์กระจายสินค้า, การกำหนดตำแหน่งจัดเก็บ, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ABSTRACT

In multi-command picking environmental, storage location significantly affect storage/retrieval time, especially distribution center of home delivery business. Therefore, this research aims to improve storage system of distribution center by comparing 3 storage policies, which are, (1) general commodity storage system, (2) class-based storage system, and (3) purchase order correlated storage system. The result from simulation shows that, correlated storage assignment strategy has highest efficiency. Moreover, allocating forwarding area for this case study provides good result for all storage policies.

KEYWORDS: Warehouse, Distribution Center, Storage Assignment, Mathematical Model

1. บทนำ

จากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีส่งผลให้คลังสินค้า/ศูนย์กระจายสินค้าสำหรับกลุ่มธุรกิจที่จัดส่งสินค้าถึงบ้าน (Home delivery) มีความสำคัญมากยิ่งขึ้น (Taniguchi, Thompson et al. 2016) ดังนั้นการจัดการศูนย์กระจายสินค้าที่ดีย่อมส่งผลดีต่อกระบวนการในการกระจายสินค้าช่วยให้การจัดส่งสินค้าทันต่อเวลาและมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามกระบวนการนำสินค้าออกจากสถานที่จัดเก็บจะมีประสิทธิภาพได้ ศูนย์กระจายสินค้าต้องได้รับการออกแบบมาอย่างเป็นระบบ ตั้งแต่แผนผังคลังสินค้า นโยบายการจัดเก็บที่นำมาใช้ และวิธีการเบิกจ่ายสินค้า ให้ความสอดคล้องกัน (Gray et al., 1992)

ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะเลือกนโยบายการจัดเก็บและวิธีการกำหนดตำแหน่งของสินค้าในศูนย์กระจายสินค้าที่พนักงานเดินเข้าไปหยิบสินค้าตามใบเบิกสินค้าแบบหลายคำสั่งต่อรอบ (Multi-command picking) โดยก่อนการนำไปใช้งานกับระบบงานจริงได้ทำการจำลองสถานการณ์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของนโยบายการจัดเก็บรูปแบบต่าง ๆ เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งในส่วนที่ 2 เป็นการศึกษางานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบและวิธีการกำหนดตำแหน่งในการจัดเก็บสินค้า ในส่วนที่ 3 ได้กล่าวถึงรายละเอียดของกรณีศึกษาที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ในส่วนที่ 4 ได้นำเสนอระเบียบงานวิจัย รูปแบบการจัดเก็บที่ได้นำมาวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในการออกแบบระบบการจัดเก็บ ในส่วนที่ 5 ได้นำเสนอผลการจำลองสถานการณ์และประสิทธิภาพของรูปแบบการจัดเก็บสินค้าแบบต่าง ๆ และการอภิปรายผลที่ได้ และสุดท้ายได้สรุปผลและนำเสนอมุมมองเกี่ยวกับงานวิจัยที่สามารถต่อยอดต่อไปได้ในส่วนที่ 6

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการออกแบบระบบการจัดเก็บสินค้ามีองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องหลายส่วนที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของคลังสินค้า ตั้งแต่การกำหนดพื้นที่จัดเก็บของสินค้าในระดับกลยุทธ์ จนกระทั่งการประยุกต์ใช้นโยบายในการเบิกจ่ายในระดับปฏิบัติการ เช่น Gray et al. (1992) ให้ความสนใจต่อการจัดผังของคลังสินค้าให้มีระยะทางในการเบิกจ่ายสินค้าที่สั้นในขณะที่ Heragu et al. (2005) ได้กำหนดการไหลของสินค้าแต่ละประเภทผ่านพื้นที่แต่ละส่วนของคลังสินค้า โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมจำนวนเต็มผสม (Mixed Integer Linear Programming) เป็นต้น นอกจากนี้แนวคิดเรื่องพื้นที่ในการจัดเตรียมสินค้าสำหรับการเบิกจ่ายแบบรวดเร็ว (Forwarding Area) ได้ถูกนำมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพทั้งในคลังสินค้าและศูนย์กระจายสินค้า สำหรับการหยิบ

สินค้าที่เป็นเศษหรือใช้พนักงานในการหยิบสินค้าตามใบเบิก เพราะพื้นที่ดังกล่าวถูกออกแบบมาให้อยู่ในตำแหน่งใกล้พื้นที่จัดเตรียมสินค้าและสามารถเข้าถึงสินค้าได้ด้วยความสะดวกและรวดเร็ว (Liu, 2004; Heragu et al., 2005)

ในส่วนของนโยบายในการจัดเก็บสินค้าและการกำหนดตำแหน่งการจัดเก็บสินค้า ก็มีผลต่อประสิทธิภาพในการเบิกจ่ายเช่นเดียวกัน ซึ่งนโยบายดังกล่าวก็ขึ้นอยู่กับประเภทและลักษณะของคลังสินค้าด้วยเช่นกัน (Koster et al., 2007) ที่ผ่านมานโยบายการจัดเก็บสินค้าที่น่าสนใจ ดังนี้

2.1 นโยบายในการจัดเก็บสินค้า

ที่ผ่านมาในอดีตมีนโยบายหลากหลายรูปแบบที่ถูกนำเสนอในงานวิจัย การจัดเก็บโดยอิงกับความสัมพันธ์ของสินค้าที่ถูกหยิบพร้อมกัน (Correlated Storage Assignment) ถือได้ว่าเป็นนโยบายในการจัดเก็บรูปแบบหนึ่งที่มีประสิทธิภาพ โดยสินค้าจะถูกจัดกลุ่มโดยอิงกับความสัมพันธ์ระหว่างตัววัตถุที่จะเบิกจ่าย ดังเช่น Xiao and Zheng (2012) และ Brynzer and Johansson (1996) จัดเก็บตามความสัมพันธ์ตามโครงสร้างของสินค้า หรือแนวความคิดที่จะจัดเก็บสินค้าที่มีความสัมพันธ์ร่วมกันตามใบสั่งซื้อของลูกค้ามาไว้ในกลุ่มเดียวกันเพื่อให้การเบิกจ่ายตามใบสั่งซื้อมีประสิทธิภาพ (Bindi et al., 2009) ดังเช่น Zhang (2016) ได้นำเสนอแนวทางในการจัดกลุ่มสินค้า 2 เทคนิค โดยอิงกับความสัมพันธ์ระหว่างสินค้าในระบบการเบิกจ่ายตามใบสั่งซื้อ ซึ่งพบว่านโยบายการจัดเก็บที่นำเสนอลดระยะทางในการเบิกจ่ายได้เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ Chuang et al. (2012) ได้นำเสนอระบบการจัดเก็บที่ใช้แนวคิดเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างสินค้าสองรายการ (Between-Item Association: BIA) เป็นตัวกำหนดกลุ่ม และหาคำตอบโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แต่ปัญหาของแบบจำลองของ Chuang et al. (2012) เป็นการโปรแกรมแบบไม่ใช่เส้นตรง (Non-Linear Programming) ซึ่งยากต่อการหาคำตอบสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ ดังนั้น Chuang et al. (2016) จึงได้พัฒนาเทคนิคในการรวมกลุ่มของสินค้าตามแนวคิดเดิม แต่ไม่ใช่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนเพื่อลดเวลาในการคำนวณ ส่งผลให้สามารถหาคำตอบได้รวดเร็วขึ้น โดยระยะทางในการเบิกจ่ายยังมีประสิทธิภาพที่ดีเช่นเดิม

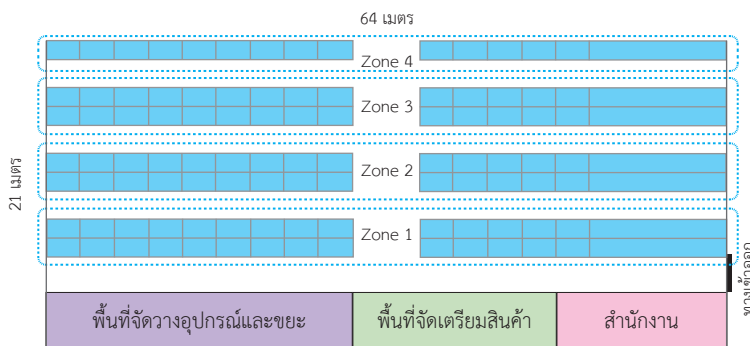
ระบบจัดเก็บแบบตามลำดับของสินค้า (Class-based Storage System) หรือบางครั้งถูกเรียกว่าการจัดเก็บแบบแบ่งกลุ่ม ABC โดยสินค้าจะถูกแบ่งกลุ่มออกเป็นกลุ่มย่อยตามเกณฑ์ก่อน จากนั้นจึงกำหนดตำแหน่งการจัดเก็บให้กับกลุ่มสินค้าแต่ละกลุ่ม ซึ่งนิยมแบ่งออกเป็น 3-4 กลุ่ม (ABC, ABCD) โดยเกณฑ์จัดแบ่งกลุ่มที่นำมาใช้ส่วนใหญ่เป็นจำนวนรอบในการเบิกจ่ายสินค้า (Yu et al., 2015)

2.2 เกณฑ์ที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่งในการจัดเก็บ

เนื่องด้วยพื้นที่การจัดเก็บสินค้าภายในมืออย่างจำกัด พื้นที่ใกล้ทางเดินและประตูทางเข้าออกถือได้ว่าเป็นพื้นที่ที่สำคัญการจัดเรียงตำแหน่งของสินค้าจึงมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพในการเบิกจ่ายสินค้า ในอดีตเกณฑ์ที่ผ่านมา งานวิจัยส่วนมากนิยมใช้ปริมาณสินค้า หรือความถี่ในการนำสินค้าเข้าออก เป็นเกณฑ์ในการกำหนดตำแหน่งการจัดเก็บสินค้า อย่างไรก็ตาม Heskett (1963) ได้นำเสนอเกณฑ์ Cube per Order Index (COI) ซึ่งคำนวณจากพื้นที่ที่ต้องการใช้สำหรับจัดเก็บสินค้าหารด้วยจำนวนรอบในการเบิกจ่ายสินค้านั้น ที่ผ่านมามีค่าดังกล่าวได้รับการอธิบายและทดสอบประสิทธิภาพกับคลังสินค้าในหลากหลายรูปแบบ มีทั้งให้ผลที่ดีกว่าหรือไม่แตกต่างกับเกณฑ์อื่น ๆ (Xiao and Zheng, 2012) แต่พบว่าถ้าคลังสินค้าเป็นแบบเบิกจ่ายแบบหลายคำสั่งในการเดินรอบเดียว (Multi Command Picking) ค่า COI จะให้ประสิทธิภาพในการกำหนดตำแหน่งที่ดีกว่าเกณฑ์แบบอื่น ๆ ในด้านระยะทางเดินเข้าไปหยิบโดยรวม (Chuang et al., 2012) ทั้งนี้ค่า COI อาจถูกนำมาประยุกต์ใช้ได้หลากหลายแบบ เช่น อัตราส่วนระหว่างจำนวนครั้งในการเบิกจ่ายสินค้าต่อพื้นที่จัดเก็บที่ต้องการ ซึ่งเป็นส่วนกลับของค่า COI ซึ่งง่ายต่อการจัดเรียงจากค่ามากไปหาน้อย เป็นต้น

3 ข้อมูลเบื้องต้นกรณีศึกษา

ศูนย์กระจายสินค้าแห่งนี้จัดเก็บสินค้าจำนวน 321 รายการ แบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ทั้งหมด 12 ประเภท ยกตัวอย่างเช่น เครื่องครัว อาหารเสริม เครื่องสำอาง เป็นต้น สินค้าถูกจัดเก็บไว้บนชั้นวางขนาด (กว้างxยาวxสูง) 0.5x1.0x2.0 เมตร มีช่องจัดวางสินค้าทั้งหมด 840 ช่องจัดเก็บในการเบิกจ่ายสินค้า ผู้วางแผนจะทำการรวบรวมคำสั่งซื้อและจัดทำใบเบิกสินค้าโดยเฉลี่ย ประกอบด้วย 40 ใบสั่งซื้อต่อใบเบิก แต่ละใบเบิกมีรายการสินค้าเฉลี่ย 74.3 รายการ จากนั้นจึงส่งต่อให้พนักงานจำนวน 8 คน ทำการเบิกจ่ายสินค้าทำการหยิบสินค้า ดังนั้นในการหยิบสินค้าหนึ่งรอบจึงประกอบด้วยสินค้าหลายประเภทจากหลายคำสั่งซื้อ ในแต่ละใบเบิกพนักงานจะหยิบสินค้าใส่รถเข็น เมื่อรถเข็นเต็มคันจะต้องนำสินค้ามาส่งยังพื้นที่จัดเตรียมสินค้าก่อนที่จะไปหยิบสินค้าต่อเมื่อทำการเบิกจ่ายจนครบถ้วน สินค้าจะถูกคัดแยกและบรรจุในพื้นที่จัดเตรียมสินค้าและเข้าสู่กระบวนการจัดส่งสินค้าต่อไป แผนผังแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1: ผังศูนย์กระจายสินค้าของกรณีศึกษา

ปัญหาหลักของศูนย์กระจายสินค้าแห่งนี้ คือ ไม่สามารถเบิกจ่ายสินค้าได้ทันต่อความต้องการ และมีค่าใช้จ่ายในการทำงานล่วงเวลาค่อนข้างสูง สาเหตุส่วนหนึ่งเกิดจากรูปแบบการจัดเก็บในปัจจุบันที่สินค้าเปลืองพื้นที่จัดเก็บสูงและไม่เพียงพอต่อปริมาณสินค้า ทำให้การรักษาตำแหน่งการจัดเก็บเป็นไปได้ยาก สินค้าส่วนเกินจึงถูกนำไปวางบนทางเดินหรือพื้นที่อื่น ๆ นอกตำแหน่งจัดเก็บ พนักงานจึงเสียเวลาในการค้นหาสินค้าและนำสินค้าออก จากการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลและบันทึกเวลาทำงานย้อนหลัง 1 เดือน ของพนักงานเบิกจ่ายทุกคนพบว่าใช้เวลาโดยเฉลี่ย 23.8 นาทีต่อใบเบิกสินค้า เพื่อแก้ปัญหาในเบื้องต้น งานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบผังใหม่โดยเพิ่มพื้นที่ Forwarding Area ขึ้นมา โดยนำมาแทนที่พื้นที่จัดวางอุปกรณ์และขยะ เพื่อนำมาใช้ในการจัดวางสินค้าที่เบิกจ่ายบ่อย อุปกรณ์ที่จัดเก็บในส่วนนี้บางส่วนสามารถจัดเก็บไว้ในสำนักงานได้ รวมทั้งมีการเบิกจ่ายเพียง 1 ครั้งต่อวันต่อคน เช่น อุปกรณ์ประจำตัวสำหรับใช้สแกนสินค้า ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อการทำงานโดยรวม ในส่วนของขยะเกิดจากกระบวนการบรรจุสินค้านั้น เมื่อไม่มีพื้นที่สำหรับการจัดเก็บขยะ ขยะจะถูกกองอยู่ในพื้นที่จัดเตรียมสินค้า เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดผลกระทบต่อการทำงานในพื้นที่ดังกล่าว จึงถูกกำหนดให้ดำเนินการกำจัดขยะเพิ่มขึ้นจาก 1 ครั้งต่อวัน เป็น 2 ครั้งต่อวัน โดยนำไปกองรวมไว้ในพื้นที่ด้านนอกที่ได้รับการจัดสรรใหม่ โดยให้พนักงานคนละกลุ่มกับพนักงานเบิกจ่ายและบรรจุสินค้าเป็นผู้ดำเนินการ

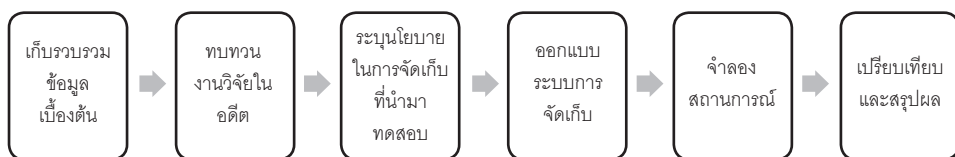
4. ระเบียบวิธีวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ ปรับปรุงระบบการจัดเก็บของศูนย์กระจายสินค้า ตัวชี้วัดหลักในงานวิจัยนี้ คือ ระยะเวลาเฉลี่ยในการเบิกจ่ายสินค้าต่อใบเบิกจ่ายของพนักงานแต่ละคนจากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นพบว่าระบบการจัดเก็บมีผลต่อประสิทธิภาพในการเบิกจ่ายดังที่ได้

กล่าวมาในหัวข้อที่ 3 ดังนั้นในรอบของงานวิจัยจึงกำหนดให้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลใบสั่งซื้อและใบเบิกสินค้าทุกรายการย้อนหลังเป็นระยะเวลา 1 ปี และทำการบันทึกระยะเวลาในการเบิกจ่ายสินค้าเป็นเวลา 1 เดือน เพื่อใช้ประเมินประสิทธิภาพของศูนย์กระจายสินค้าในปัจจุบัน จากนั้นทำการศึกษางานวิจัยในอดีต เพื่อระบุนโยบายจัดเก็บสินค้าที่จะนำมาใช้ จากนั้นทำการเปรียบเทียบนโยบายการจัดเก็บและวิธีการระบุตำแหน่งที่เหมาะสมโดยใช้การจำลองสถานการณ์ โดยรอบการวิจัยแสดงดังรูปที่ 2

4.1 ระบบการจัดเก็บสินค้า

ปัจจุบันศูนย์กระจายสินค้าแบ่งสินค้าออกเป็น 12 กลุ่ม ตามประเภทของสินค้า และมีการใช้พื้นที่ร่วมกันภายในกลุ่ม แต่พื้นที่ก็ยังไม่เพียงพอต่อการจัดเก็บ ดังนั้นนโยบายการจัดเก็บแบบกำหนดตำแหน่งตายตัว (Fixed Location Storage System) จึงไม่เหมาะสมสำหรับกรณีศึกษานี้ เพราะระบบดังกล่าวใช้พื้นที่จัดเก็บที่มากขึ้น ดังนั้นนโยบายในการจัดเก็บที่จะนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในงานวิจัยนี้จึงประกอบด้วย



รูปที่ 2: กรอบงานวิจัย

(1) ระบบการจัดเก็บตามประเภทสินค้าทั่วไป (General Commodity Storage System) สินค้าที่ถูกจัดเก็บในศูนย์กระจายสินค้าจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มตามประเภทของสินค้า เช่น กลุ่มเครื่องครัว กลุ่มอาหารเสริม เป็นต้น โดยสินค้าในแต่ละกลุ่มจะสามารถใช้พื้นที่จัดเก็บร่วมกันได้ (เพื่อประหยัดพื้นที่) จากนั้นจึงกำหนดตำแหน่งจัดเก็บสินค้าของแต่ละกลุ่มเรียงตามเกณฑ์ของค่าความถี่ในการเบิกจ่ายต่อพื้นที่จัดเก็บที่ต้องการ (Throughput/storage slot: T/S)

(2) ระบบจัดเก็บแบบตามลำดับของสินค้า (Class-based Storage System) ในงานวิจัยนี้ได้ทำการแบ่งกลุ่มสินค้าออกเป็น 3 กลุ่ม โดยจัดลำดับของสินค้า จากค่า T/S มากไปหาน้อย จากนั้นทำการแบ่งกลุ่มโดยมีข้อกำหนดดังนี้ 1) *กลุ่ม A* มีผลรวมของค่า T/S ไม่เกินร้อยละ 70 หรือมีสมาชิกกลุ่มไม่เกินร้อยละ 20 2) *กลุ่ม B* มีผลรวมของค่า T/S ไม่เกินร้อยละ 15 หรือมีสมาชิกในกลุ่มนี้ไม่เกินร้อยละ 30 และ 3) ส่วนที่เหลือจะเป็นสมาชิกของ *กลุ่ม C*

(3) ระบบการจัดเก็บโดยอิงกับความสัมพันธ์ของสินค้าที่ถูกหยิบด้วยกัน (Correlated Storage System) ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งสินค้าออกเป็นกลุ่ม โดยอิงจากค่าความสัมพันธ์ระหว่างสินทรายการที่ i และ j ในใบเบิกสินค้าของลูกค้า (r_{ij}) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$r_{ij} = \frac{\text{จำนวนใบเบิกที่มีสินค้า } i \text{ และ } j}{\text{จำนวนใบเบิกที่มีสินค้า } i + \text{จำนวนใบเบิกที่มีสินค้า } j} \quad (1)$$

ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบจำนวนเต็มทวิภาค (Binary Integer Programming) เพื่อจัดกลุ่มสินค้าที่มีความสัมพันธ์กันตามใบเบิกสินค้า สมการที่นำมาใช้ถูกประยุกต์มาจากงานวิจัยของ Komodakis et al. (2008) ที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการจัดกลุ่มวัตถุแสดงดังสมการ (2)-(6)

ดัชนี

- G คือ เซตของรายการสินค้า i และ j โดยที่ $ij \in G$
 K คือ เซตของกลุ่มสินค้าที่ถูกจัดกลุ่มไว้รวมกัน โดยที่ $k \in K$
 S คือ เซตของช่องที่จัดเก็บสินค้า $s \in S$ และ S' คือ เซตของช่องจัดเก็บสินค้าในส่วนของ Forwarding Area

พารามิเตอร์

d คือ อัตราส่วนการใช้พื้นที่จัดเก็บแบบ forwarding area ต่อพื้นที่จัดเก็บแบบปกติ (reserved area) ตามนโยบายของบริษัทประกันภัยศึกษา

- f_k คือ ความถี่ในการเบิกจ่ายรวมของกลุ่มสินค้าที่ $k \in K$
 p_k คือ จำนวนช่องจัดเก็บที่ต้องการสำหรับกลุ่มสินค้าที่ $k \in K$
 t_s คือ ระยะเวลาในการเดินและเบิกจ่ายสินค้าสำหรับช่องจัดเก็บ $s \in S$
 N คือ จำนวนกลุ่มสินค้าที่อนุญาตให้รวมกันได้

ตัวแปรตัดสินใจ

- r_{ij} คือ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างสินคารายการที่ i และ j
 x_{ij} คือ ถ้ามีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าสินค้า i และ j ถูกจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน; 0 ตรงกันข้าม
 x_{ij} คือ ถ้ามีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าสินค้า j เป็นศูนย์กลางของการจัดกลุ่ม; 0 ตรงกันข้าม
 y_{ks} คือ ถ้ามีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่ากลุ่มสินค้า k ถูกจัดเก็บไว้ในช่องจัดเก็บที่ s ; 0 ตรงกันข้าม

$$\max z_1 = \sum_{ij \in G} r_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

s.t.

$$\sum_{j \in G} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in G \quad (3)$$

$$x_{ij} \leq x_{jj} \quad \forall ij \in G; i \neq j \quad (4)$$

$$\sum_{j \in G} x_{jj} \leq N \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall ij \in G \quad (6)$$

สมการวัตถุประสงค์ (2) จัดกลุ่มของสินค้าโดยให้มีผลรวมของความสัมพันธ์ (r_{ij}) มากที่สุด โดยมีข้อจำกัดที่ (3) สินค้าแต่ละรายการที่ i สามารถเป็นสมาชิกของกลุ่ม j ใดๆ ได้เพียงแค่กลุ่มเดียว ในขณะที่ข้อจำกัดที่ (4) ถ้าสินค้า j เป็นศูนย์กลางในการจัดกลุ่มแล้ว ค่า x_{jj} จะต้องเท่ากับ 1 เสมอ ข้อจำกัดที่ (5) จำนวนกลุ่มที่อนุญาตให้รวมกันได้ไม่เกิน N เพื่อป้องกันการใช้พื้นที่จัดเก็บมากเกินไป และข้อจำกัดที่ (6) ประเภทของตัวแปรตัดสินใจแบบทวิภาค

4.2 การกำหนดตำแหน่งในการจัดเก็บ

ทุกระบบจัดเก็บที่ได้กล่าวมาในหัวข้อ 4.1 กลุ่มของสินค้าจะถูกกำหนดตำแหน่งสถานที่จัดเก็บโดยประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมจำนวนเต็มทวิภาค (Binary Integer Programming) ของ Francis (1974) ในส่วนของข้อมูลเวลามาตรฐานในการเบิกจ่ายของแต่ละช่องจัดเก็บจะคำนวณจากการเก็บข้อมูล 30 ครั้ง โดยคำนวณอิงตามระยะทางจากพื้นที่จัดเตรียมสินค้า นอกจากนี้เพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายในการจัดเก็บของศูนย์กระจายสินค้า ในงานวิจัยนี้จึงได้มีการพัฒนาข้อจำกัดเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถกำหนดสัดส่วนในการจัดเก็บสินค้าในพื้นที่แบบ Forwarding area ต่อพื้นที่จัดเก็บแบบ Reserved area ได้ โดยมีรายละเอียดตามสมการ (7) – (11) ดังต่อไปนี้

$$\min z_2 = \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} \frac{f_k}{p_k} t_s y_{ks} \quad (7)$$

s.t.

$$\sum_{k \in K} y_{ks} = 1 \quad \forall s \in S \quad (8)$$

$$\sum_{s \in S} y_{ks} = p_k \quad \forall k \in K \quad (9)$$

$$\frac{\sum_{s \in S'} y_{ks}}{\sum_{s \in S} y_{ks}} \leq d \quad \forall k \in K \quad (10)$$

$$y_{ks} \in \{0, 1\} \quad \forall k \in K \forall s \in S \quad (11)$$

สมการวัตถุประสงค์ (7) ระบุตำแหน่งในการจัดเก็บสินค้าของแต่ละกลุ่มโดยพิจารณาจากระยะเวลาในการเบิกจ่ายรวมทั้งหมดต่อช่องจัดเก็บ ซึ่งพิจารณาหาคำตอบจากข้อจำกัดที่ (8) ช่องจัดเก็บที่ s ใด ๆ สามารถจัดเก็บสินค้าได้เพียงแค่กลุ่มเดียว ในขณะที่ข้อจำกัดที่ (9) จำนวนช่องจัดเก็บที่แจกจ่ายให้กับกลุ่มสินค้าที่ k ใด ๆ จะเท่ากับปริมาณความต้องการช่องจัดเก็บของกลุ่มสินค้านั้น ๆ ข้อจำกัดที่ (10) กำหนดสัดส่วนการจัดเก็บสินค้าในพื้นที่ Forwarding Area ต่อพื้นที่จัดเก็บแบบกึ่งถาวร และข้อจำกัดที่ (11) ประเภทของตัวแปรตัดสินใจแบบทวิภาค

4.3 ผลการวิเคราะห์นโยบายการจัดเก็บ

จากตารางที่ 1 นโยบายการจัดเก็บแบบแบ่งกลุ่มสินค้าทั่วไปยังคงแบ่งกลุ่มตามเดิม คือ 12 กลุ่ม ซึ่งอิงจากประเภทของสินค้า ประกอบด้วย (1) เครื่องสำอาง (2) อุปกรณ์ความงาม

(3) อุปกรณ์ตกแต่ง (4) เครื่องเขียน (5) อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ (6) อุปกรณ์เสริม ยานยนต์ (7) อาหารเสริม (8) เครื่องใช้ในครัว (9) ของเล่น (10) แฟชั่นผู้ชาย/ผู้หญิง (11) ของสะสม และ (12) อื่น ๆ กลุ่มของสินค้าจะถูกจัดสรรพื้นที่จัดเก็บแยกออกจากกัน เมื่อคำนวณพื้นที่ที่ต้องการ โดยใช้ข้อมูลในอดีตย้อนหลัง 1 ปี พบว่าต้องการพื้นที่จัดเก็บทั้งหมด 949 ช่องจัดเก็บ

การแบ่งกลุ่มแบบ Class-based storage system หรือ ABC จะสามารถแบ่งกลุ่มได้ 3 กลุ่ม จากเกณฑ์ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มสินค้าตามที่ได้กล่าวมาในหัวข้อ 4.1 โดยอิงกับเกณฑ์จำนวน สมาชิกเป็นหลัก ดังนั้นสมาชิกของกลุ่ม A (กลุ่มที่ 1 ตามตารางที่ 1) จึงมีจำนวนสมาชิกน้อยที่สุด คือ 71 รายการ แต่มีร้อยละจำนวนครั้งในการเบิกจ่ายต่อปีมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 57.9 ในขนาดที่ กลุ่ม B มีจำนวนสมาชิกอยู่ที่ 103 รายการ คิดเป็นร้อยละ 25.1 และกลุ่ม C มีจำนวนสมาชิก 147 รายการ คิดเป็นร้อยละ 17.0 ซึ่งพบว่าต้องการพื้นที่จัดเก็บรวมทั้งหมด 794 ช่องจัดเก็บ แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1: ผลการวิเคราะห์ระบบจัดเก็บรูปแบบต่าง ๆ

ข้อมูล		นโยบายจัดเก็บ		
		ตามประเภทสินค้าทั่วไป	แบ่งกลุ่ม ABC	ตามความสัมพันธ์
จำนวนกลุ่ม		12	3	10
กลุ่มที่	1	37	62	53
	2	23	89	51
	3	28	170	45
	4	35		37
	5	22		35
	6	31		27
	7	34		27
	8	47		19
	9	11		16
	10	24		11
	11	21		
	12	8		
พื้นที่จัดเก็บที่ต้องการ (ช่อง)		949	794	895

การแบ่งกลุ่มตามความสัมพันธ์ของสินค้า ถูกแบ่งกลุ่มและกำหนดสมาชิกโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ (2) - (6) ในการหาคำตอบได้กำหนดให้จัดกลุ่มได้ไม่เกิน 15 กลุ่ม (ค่า N) เพื่อป้องกันไม่ให้มีจำนวนกลุ่มมากเกินไป จนพื้นที่จัดเก็บมีไม่เพียงพอต่อความต้องการ ผลที่ได้พบว่าจำนวนกลุ่มทั้งหมด 10 กลุ่ม และมีจำนวนสมาชิกแต่ละกลุ่มแสดงดังตารางที่ 1

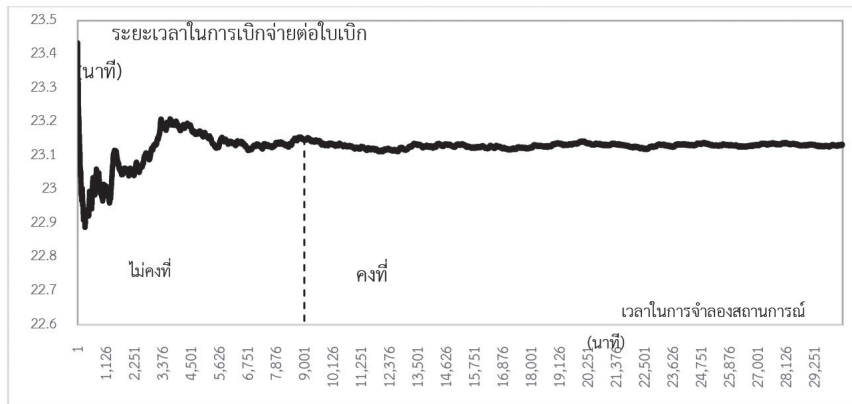
เนื่องด้วยหลังการปรับปรุงพื้นที่จัดเก็บแบบ Forwarding Area ที่เพิ่มเข้ามา จะมีจำนวนช่องจัดเก็บประมาณ 120 ช่อง ส่งผลให้มีช่องจัดเก็บรวมทั้งหมด 960 ช่อง จากการออกแบบระบบการจัดเก็บที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ พบว่าความต้องการพื้นที่จัดเก็บเพียงพอต่อพื้นที่ที่มีอยู่ ดังแสดงในตารางที่ 1 ในส่วนของการกำหนดสถานที่จัดเก็บของกลุ่มสินค้าแต่ละกลุ่มได้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ (7) - (11) ในการหารูปแบบที่ดีที่สุด ซึ่งได้นำมาใช้กับทุกนโยบายในการจัดเก็บตามที่ได้ระบุไว้ทั้ง 3 ระบบการจัดเก็บ

4.4 การจำลองสถานการณ์

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการจำลองสถานการณ์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของนโยบายการจัดเก็บสินค้ารูปแบบต่าง ๆ ดังที่กล่าวมา โดยกำหนดตัวชี้วัดหลักเป็นระยะเวลาที่ใช้ในการเบิกจ่ายต่อใบเบิกสินค้า และทำการจำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรม Arena version 15.0 โดยขอบเขตของแบบจำลองสถานการณ์ครอบคลุมกิจกรรมตั้งแต่กระบวนการเบิกจ่ายจนกระทั่งนำสินค้ามาส่งยังพื้นที่จัดเตรียมสินค้า ประกอบด้วย (1) ขั้นตอนการรับใบเบิกสินค้า (2) การเดินเข้าไปยังสถานที่จัดเก็บ (3) การหยิบสินค้า (4) การจัดวางบนรถเข็น (5) การนำสินค้ามาส่ง และ (6) การนำสินค้าออกจากรถเข็น กำหนดระยะเวลาในการจำลองสถานการณ์ 341 วัน กำหนดระยะเวลาในการ warm up เท่ากับ 21 วัน (ประมาณ 10,000 นาฬิกา) ตามที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ แสดงดังรูปที่ 3) โดยกำหนดให้แต่ละวันมีเวลา 8 ชั่วโมงการทำงานแบบปกติ และมี 2 ชั่วโมง การทำงานแบบล่วงเวลา ทำการคำนวณจำนวนครั้งในการจำลองสถานการณ์ (Replication) จากสมการที่ (12) (Kelton et al., 2003) ในการจำลองสถานการณ์เบื้องต้นจำนวน 30 ครั้ง ได้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5.21 นาฬิกา/ใบเบิก โดยกำหนด Half width ที่ต้องการเท่ากับ 1 นาฬิกา/ใบเบิก ได้ค่า $n_r = 113.5$ ครั้ง ดังนั้นจึงกำหนดให้จำลองสถานการณ์ทั้งหมด 120 ครั้ง

$$n_R = t_{n-1, \alpha/2}^2 \frac{s^2}{h^2} \quad (12)$$

โดย	n_R	คือ จำนวนครั้งในการจำลองสถานการณ์
	t	คือ ค่า t ที่ได้จากตาราง
	s	คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	h	= ค่า half width ที่ต้องการ



รูปที่ 3: การจำลองสถานการณ์เบื้องต้นเพื่อกำหนด Warm up Period

จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเป็นระยะเวลา 30 วันทำการ พบว่าระยะเวลาในการเบิกจ่ายสินค้าของระบบงานจริงในปัจจุบันอยู่ที่ 23.8 นาทีต่อใบเบิก ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5.19 นาทีต่อใบเบิก ถูกลนำมาใช้เพื่อทดสอบว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถเป็นตัวแทนการทำงานของกระบวนการเบิกจ่ายสินค้าได้หรือไม่ โดยมีสมมุติฐานในการทดสอบ ดังนี้

H_0 : ค่าเฉลี่ยเวลาในการเบิกจ่ายสินค้าของระบบงานจริงเท่ากับแบบจำลอง

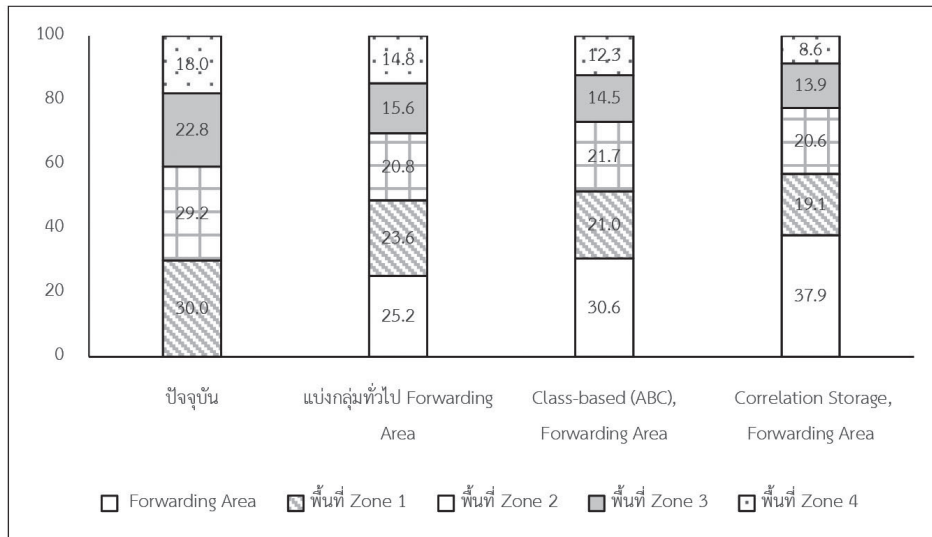
H_1 : ค่าเฉลี่ยเวลาในการเบิกจ่ายสินค้าของระบบงานจริงไม่เท่ากับแบบจำลอง

จากการทดสอบทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab 14.0 ฟังก์ชัน Two-sample T ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้ค่า p-value เท่ากับ 0.504 สรุปได้ค่าเฉลี่ยเวลาในการเบิกจ่ายสินค้าของระบบงานจริงเท่ากับแบบจำลองที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นแบบจำลองสถานการณ์มีพฤติกรรมและให้ผลการดำเนินงานเหมือนระบบงานจริง

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลจากการจำลองสถานการณ์พบว่า ระบบการจัดเก็บในปัจจุบันที่จัดเก็บสินค้าแยกตามประเภทสินค้าทั่วไป ส่งผลให้สินค้าที่ต้องเบิกจ่ายของใบเบิกแต่ละใบถูกกระจายไปทั่วทุกพื้นที่จัดเก็บของศูนย์กระจายสินค้าตั้งแต่ พื้นที่ Zone 1 (ร้อยละ 30.0 ของจำนวนครั้งในการหยิบสินค้าทั้งหมด) จนถึง Zone 4 (ร้อยละ 18.0) แสดงดังรูปที่ 4 ถึงแม้จะเพิ่มพื้นที่ Forwarding Area เข้ามาใช้กับระบบการจัดเก็บแบบเดิม แต่จำนวนครั้งในการเบิกจ่ายในพื้นที่ที่ไกลสุดของศูนย์กระจายสินค้าอย่าง Zone 4 ก็ยังมีสัดส่วนสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระบบการจัดเก็บรูปแบบอื่น

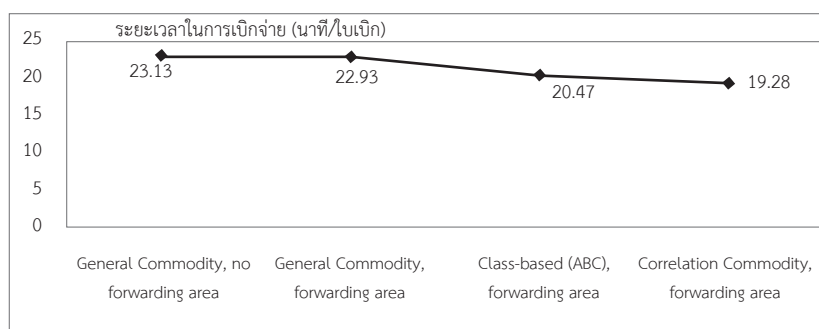
ร้อยละจำนวนครั้งในการเบิกจ่ายของแต่ละพื้นที่



รูปที่ 4: ผลการจำลองสถานการณ์ ร้อยละจำนวนครั้งในการเบิกจ่ายสินค้าในแต่ละพื้นที่

ระบบการจัดเก็บแบบ Class-based Storage พบว่าการเบิกจ่ายเกิดขึ้นในพื้นที่ Forwarding Area มากที่สุด (ร้อยละ 30.6) แต่ในพื้นที่ Zone 1 และ 2 มีจำนวนครั้งในการเบิกจ่ายที่ใกล้เคียงกัน คือ ร้อยละ 21.0 และ ร้อยละ 21.7 ตามลำดับ ในขณะที่ Zone 3 และ 4 มีค่าใกล้เคียงกัน คือ ร้อยละ 14.5 และ ร้อยละ 12.3 แสดงให้เห็นว่ายังมีสัดส่วนจำนวนครั้งในการเดินเข้าไปหยิบสินค้าในพื้นที่ห่างไกลมากอยู่เช่นกัน ซึ่งตามทฤษฎีแล้วพื้นที่จัดเก็บสินค้ากลุ่ม C (พื้นที่จัดเก็บ Zone 3 และ 4) ควรจะมีร้อยละในการเบิกจ่ายไม่เกินร้อยละ 15 ตามทฤษฎี (Yu et al., 2015) แต่จากลักษณะการกระจายตัวของความถี่ในการสั่งซื้อสินค้าไม่เหมาะสมกับระบบการจัดเก็บแบบนี้ สินค้าที่ขายดีกับขายไม่ดีแยกจากกันไม่ชัดเจน ดังนั้นในการแบ่งกลุ่มสินค้าด้วยวิธีการนี้จึงอิงตามร้อยละของจำนวนสมาชิกเป็นหลัก ดังนั้นในกลุ่ม C จึงยังมีร้อยละการเบิกจ่ายรวม เกินร้อยละ 15 อยู่

ในขณะที่ระบบการจัดเก็บอิงตามความสัมพันธ์ มีการเบิกจ่ายจากพื้นที่ Forwarding Area มากที่สุด (ร้อยละ 37.9) ซึ่งใบเบิกสินค้าบางส่วนสามารถเบิกจ่ายสินค้าจนครบได้โดยไม่ต้องเดินเข้าคลังกระจายสินค้า ส่งผลให้ระบบการจัดเก็บแบบนี้ใช้ระยะเวลาในการเบิกจ่ายต่อใบเบิกสั้นที่สุด คือ 19.28 นาทีต่อใบเบิก (แสดงดังรูปที่ 5) อย่างไรก็ตามใบเบิกสินค้าส่วนใหญ่ (ร้อยละ 67.4) พนักงานยังจำเป็นต้องเดินเข้าไปยังพื้นที่โดยเฉลี่ย 2-3 Zone ดังนั้นการปรับปรุงวิธีการในการสร้างใบเบิกให้อิงตามสถานที่ ซึ่งมีแนวโน้มช่วยลดระยะทางและระยะเวลาในการเบิกจ่ายลงได้



รูปที่ 5: ระยะเวลาในการเบิกจ่ายสินค้าของแต่ละระบบการจัดเก็บ

นอกจากนี้ เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบจำลองสถานการณ์พบว่าในแต่ละวันมีจำนวนใบเบิกสินค้าที่ต้องดำเนินการโดยเฉลี่ย 124-125 ใบต่อวัน ซึ่งพนักงานทั้ง 8 คน จะรับหน้าที่ในการเบิกจ่ายสินค้าและนำสินค้าจากสถานที่เก็บมายังพื้นที่จัดเตรียมสินค้าเพื่อทำการบรรจุหีบห่อ โดยในแต่ละวัน พนักงานในศูนย์กระจายสินค้าจะมีเวลาเหลือในการทำงาน 60.9 นาที ในระบบการจัดเก็บแบบอิงตามความสัมพันธ์ของใบเบิกสินค้า (เมื่อเปรียบเทียบกับเวลาทำงานปกติ 8 ชั่วโมงต่อวัน) ดังแสดงในตารางที่ 2 ส่งผลให้กรณีศึกษาไม่จำเป็นต้องเปิดการทำงานล่วงเวลา และสามารถนำเวลาว่างที่เหลืออยู่ไปใช้ทำกิจกรรมอื่น ๆ ของศูนย์กระจายสินค้าได้ นอกจากนี้ระบบการจัดเก็บดังกล่าวส่งผลให้ระยะทางในการเบิกจ่ายสินค้าในแต่ละวันลดลง จากเดิมที่พนักงานต้องเดินรวมกันเฉลี่ยวันละ 8,945 เมตร เหลือเพียง 7,754 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2: ผลการจำลองสถานการณ์

ข้อมูล	ปัจจุบัน		แบ่งกลุ่มไป Forwarding Area		Class-based (ABC), Forwarding Area		Correlation Storage, Forwarding Area	
	ค่าเฉลี่ย	hw*	ค่าเฉลี่ย	hw	ค่าเฉลี่ย	hw	ค่าเฉลี่ย	hw
เวลาเบิกจ่าย (นาทีต่อใบเบิก)	23.13	0.04	22.93	0.10	20.47	0.09	19.28	0.05
จำนวนใบเบิกต่อวัน	124.2	7.1	124.2	7.1	125.3	7.1	124.1	7.0
เวลาการทำงานปกติที่เหลืออยู่ (นาที)	1.0	4.6	16.0	2.7	39.4	4.5	60.9	5.9
ระยะทางในการเบิกจ่ายต่อวัน (เมตร)	8,945	92.7	8,192	86.6	8,001	84.2	7,754	81.7

*hw คือ ค่า half width

นอกจากนี้การนำผลการจำลองสถานการณ์ไปสู่การใช้งานจริง ยังมีที่ต้องคำนึงถึงอยู่ กล่าวคือ การจัดเก็บสินค้าโดยอิงตามความสัมพันธ์ของรายการสินค้าในใบเบิก จะส่งผลให้สินค้าที่แตกต่างกันตามประเภท ขนาด และลักษณะทางกายภาพถูกจัดเก็บร่วมกัน ดังนั้นจึงเป็นการยากที่พนักงานจะเรียนรู้และคุ้นเคย จนพัฒนาทักษะในการเบิกจ่ายให้มีประสิทธิภาพเฉกเช่นเดียวกับผลการจำลองสถานการณ์ ดังนั้นการนำเทคโนโลยีและเทคนิคการควบคุมการทำงานด้วยการมองเห็น (Visual Control) จึงจำเป็นต่อการนำวิธีนี้ไปใช้งานจริง เช่น การพัฒนาป้ายบอกสถานที่จัดเก็บที่เหมาะสม ระบบนำทางไปยังจุดจัดเก็บ เป็นต้น

6. สรุปผลการวิจัย

ในการปรับปรุงระบบการจัดเก็บของศูนย์กระจายสินค้า กรณีศึกษาพบว่าสาเหตุที่ทำให้การนำสินค้าออกจากสถานที่จัดเก็บใช้เวลานาน คือ ระบบในการจัดเก็บที่ไม่เหมาะสมทำให้ใช้พื้นที่มากเกินทรัพยากรที่มีอยู่ ส่งผลให้มีสินค้าบางส่วนถูกจัดเก็บนอกพื้นที่ ที่ได้รับไว้ ดังนั้นแนวทางในการปรับปรุง จึงทำการออกแบบผังของศูนย์กระจายสินค้าใหม่ โดยเพิ่มพื้นที่จัดเก็บในรูปแบบ Forwarding Area เข้ามาเพื่อรองรับการเบิกจ่ายสินค้าที่มีความถี่สูง และนำนโยบายการจัดเก็บ 3 รูปแบบมาทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยใช้การจำลองสถานการณ์ ผลที่ได้พบว่าระบบการจัดเก็บอิงตามความสัมพันธ์ของเบิกให้ผลที่ดีที่สุดในมุมมองของระยะเวลาในการเบิกจ่าย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีตที่นโยบายการจัดเก็บรูปแบบนี้เหมาะสมสำหรับคลังสินค้าที่มีการเบิกจ่ายแบบหยิบตามใบสั่งซื้อหรือใบเบิกจ่าย ซึ่งช่วยลดระยะเวลาและระยะทางโดยรวม (Bindi et al., 1996; Chuang et al., 2012; Zhang, 2016) ในขณะที่นโยบายการจัดเก็บแบบ Class-based พบว่าไม่เหมาะสมกับกรณีศึกษา เนื่องจากการจัดแบ่งกลุ่มอิงกับจำนวนสมาชิกเป็นหลัก ส่งผลให้กลุ่ม C ยังมีร้อยละของการเบิกจ่ายสูงอยู่ พนักงานจึงต้องเบิกจ่ายสินค้าโดยมีระยะทางในการเดินเข้าหาสินค้าสูงอยู่ จึงไม่ได้ผลที่ดีเท่ากับงานวิจัยในอดีตที่ประยุกต์ใช้นโยบายนี้ (Yu et al., 2015; Felix and Chan, 2011)

สำหรับงานวิจัยในอนาคต ถ้ามีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการเบิกจ่ายจากพนักงานถูกมอบหมายให้เดินทั้งศูนย์กระจายสินค้ามาเป็นการเบิกจ่ายแบบแบ่งพื้นที่หยิบสินค้า (Zone Picking) ร่วมกับการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขในการรวมใบสั่งซื้อให้สอดคล้องกับระบบการจัดเก็บ เป็นประเด็นที่น่าศึกษาว่าระบบการจัดเก็บแบบใดจะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดสำหรับศูนย์กระจายสินค้าแห่งนี้

นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ค่าอัตราส่วนระหว่างจำนวนครั้งในการเบิกจ่ายสินค้าต่อพื้นที่จัดเก็บที่ต้องการในการระบุตำแหน่งจัดเก็บสินค้าเท่านั้น แต่พบว่าสินค้าที่จัดเก็บมีความแตกต่างกันส่วนของขนาดและน้ำหนัก ซึ่งส่งผลให้สินค้าบางส่วนที่มีน้ำหนักสูงถูกจัดเก็บในพื้นที่ห่างไกล ดังนั้นในอนาคตการออกแบบระบบการจัดเก็บอาจจำเป็นต้องนำปัจจัยอื่น ๆ มาใช้ร่วมกับเทคนิคการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process: AHP)

เอกสารอ้างอิง

- Bindi, F.; Manzini, R.; Pareschi, A; and Regattieri, A. (2009). Similarity-based storage allocation rules in an order picking system: an application to the food service industry International Journal of Logistics: Research and Applications. Vol. 12: No. 4: pp.233–247.
- Brynzer, H.; and Johansson, M.I. (1996). Storage location assignment: Using the product structure to reduce order picking times. International Journal of Production Economics. No.46-47: pp.595-603.
- Chuang, Y.F.; Lee, H.T.; and Lai, Y.C. (2012). Item-associated cluster assignment model on storage allocation problems. Computers & Industrial Engineering. No.63: pp.1171–1177.
- Chuang Y.F.; Lee, H.T.; and Tan, S.W. (2016). A robust heuristic method on the clustering-assignment problem model. Computers & Industrial Engineering. N0.98: pp.63–67.
- Felix T.S., C.; and H.K., Chan. (2011). Improving the productivity of order picking of a manual-pick and multi-level rack distribution warehouse through the implementation of class-based storage. Expert Systems with Applications. No.38: pp.2686-2700.
- Francis, R. L.; McGinnis, F.Jr.; and White, J. A. (1974). Facility Layout and Location: An Analytical Approach (2nd Edition). Prentice-Hall Inc. 2nd Edition. pp.258-269.
- Gray, A.E.; Karmarkar, U.S.; and Seidmann, A. (1992). Design and operation of an order-consolidation warehouse: Models and application. European Journal of Operational Research. Vol. 58, Issue 1: pp.14-36.
- Hesket, J.L. (1963). Cube-per-order index A key to warehouse stock location. Transportation Distribution Management. No.3: pp.27-31.
- Heragu, S.S.; Du, L.; Mantel, R. J.; and Schuur, P. C. (2005). Mathematical model for warehouse design and product allocation. International Journal of Production Research. No.43(2): pp.327–338.
- Kelton, W. D.; Sadowski, R. P.; and Sturrock, D. T. (2003). Simulation with Arena. McGraw-Hill Higher Education.

- Koster, R.D.; Tho Kees, L.D.; and Roodbergen, J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. European Journal of Operational Research. No.182: pp.481–501.
- Komodakis N., Paragios N. and Tziritas G. (2008) Clustering via LP-based Stabilities. Neural Information Processing Systems. No.21: pp.1-8.
- Liu C. M., (2004).Optimal storage layout and order picking for warehousing. International Journal of Operations Research, 1(1), 37–46.
- Taniguchi E., Thompson R.G. and Yamadaa T. (2016). New Opportunities and Challenges for City Logistics. Transportation Research Procedia. No.12: 5-13.
- Xiao, J.; and Zheng, L. (2012). correlated storage assignment to minimize zone visits for BOM picking. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. No. 61(5-8) pp.797–807.
- Yu, Y.; Koster, R.; and Guo, X. (2015). Class based storage with a finite number of items: Using more classes is not always better. Production and Operations Management. Vol. 24: No. 8: pp.1235–1247.
- Zhang, Y. (2016). Correlated Storage Assignment Strategy to reduce Travel Distance in Order Picking. IFAC-PapersOnLine. Vol. 49-2: pp.030–035.